

戴永柏 编著

电影

数字立体声技术

DIANYING
SHUZILITISHENGJISHU



兵器工业出版社

电影数字立体声技术

内容简介

本书系统地介绍了数字立体声技术的基本原理、技术标准和实现方法。全书共分五章。第一章介绍数字立体声技术的发展概况、分类及特点；第二章介绍数字立体声的编码原理；第三章介绍数字立体声的解码原理；第四章介绍数字立体声的传输和存储；第五章介绍数字立体声的应用。本书可作为从事数字立体声技术工作的工程技术人员、研究人员和高等院校相关专业师生的参考书。

戴永柏 编著

图例主标题(CIP)

电影数字立体声技术 / 戴永柏编著. — 北京: 兵器工业出版社, 2004.

ISBN 7-80175-538-8

I. 电... II. 戴... III. 电影—立体声—技术 IV. TN912.32

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第10089号

责任编辑: 王桂芳
封面设计: 王桂芳
版式设计: 王桂芳
文字编辑: 王桂芳
校对: 王桂芳
印刷: 王桂芳
装订: 王桂芳
发行: 王桂芳

出版发行: 兵器工业出版社
社址: 北京市丰台区丰泽路10号
邮编: 100089
电话: 010-68011111
传真: 010-68011111
网址: www.bqpress.com.cn

兵器工业出版社

内容简介

自 1927 年第一部有声电影问世以来,电影声迹的发展经历了数十年曲折的过程,20 世纪中叶电影立体声技术得以发展,并以较快的速度步入了电影数字立体声时代。本书分 13 章,分别对电影数字立体声的发展历史、基本原理、系统组成、重点知识、设备安装调试及维护,进行了较详细的阐释,对新知识、新技术的应用,做了较为详细的说明。本书理论和实践并举,讲理论深入浅出,使初学者能很快读懂,使工程技术人员能对电影数字立体声理论有较系统的理解;讲实践通俗易懂,读后能对电影数字立体声系统的厅堂环境、系统配置及设备安装调试有较详细的了解。本书既可作为电影放映技术人员的培训教材,也可作为影视工程技术人员的业务指导资料,还可作为立体声及家庭影院爱好者的科普读物。

图书在版编目(CIP)数据

电影数字立体声技术 / 戴永柏编著. —北京:兵器工业出版社,2004.6
ISBN 7-80172-238-8

I. 电... II. 戴... III. 电影院 - 立体声技术:数字技术 - 音频设备 IV. TN912.27

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 042837 号

出版发行:兵器工业出版社
责任编辑:郭佳
邮编社址:100089 北京市海淀区车道沟 10 号
经 销:各地新华书店
印 刷:北京瑞达方舟印务有限公司
版 次:2004 年 6 月第 1 版第 1 次印刷
印 数:1-7000

封面设计:李 晖
责任校对:仝 静
责任印制:王京华
开 本:787×1092 1/16
印 张:17
字 数:428 千字
定 价:30.00 元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

序 一

年初应戴永柏同志之邀,对戴永柏同志新编写的《电影数字立体声技术》书稿先看一看,我愉快地接受了。

今年四月底,戴永柏同志把我看过的书稿整理后又送我再看一看,并恳请我为该书写一个序言。我感到责任重大但又无法推辞。经过思考之后,我想还是把我第一次阅读该书稿时的几点感受写出来较合适,因为第一次阅读的印象和感受是最真实的。

感受之一:该书稿涉及的内容比较全面,它基本上把20世纪80年代中期我国引进4-2-4电影立体声设备以来,从模拟立体声到数字立体声在技术上的各种提高改进都包括在内了;从放映机上的白炽灯还音光学声头到红光还音光学声头;从模拟电路的影院处理器到全数字电路的处理器;从模拟信号的矩阵处理到全数字处理;从影院的电声和建声分别考虑到统一设计,都作了必要的讲述。

感受之二:本书稿的特点之一是以实用为主,其重点是影院数字立体声设备的选择及其安装与调试。书稿中以我国数字立体声影院使用较多的CP650处理器为范例,详细地讲述了A环和B环的调试步骤和方法,这对学习者是很实用的。

感受之三:为了增强理解,书稿中还辅以必要而简明的立体声原理和影院建声学基础,以及AC-3和DTS的压缩和解压的理论依据等,达到了实践与理论的较好结合。

总之,这是一本图文并茂、很值得新老电影放映技术人员学习提高的较完整的教材,也可供从事立体声影院工程技术人员作参考。

姚世荣

2004年5月6日

序 二

王 国 欣

2004年1月16日,戴永柏同志送来他编写的《电影数字立体声技术》的书稿,把我这个老战友作为他信赖的第一读者,嘱我为本书作序。对此,我真有些惶惶然,我一直认为为人作序是件十分庄严、十分紧要的事,但我又不好过于推辞,因为他几次对此事都说得很郑重而坚决,这是战友的情义和信任。

记得我们第一次见面是1972年秋天,戴永柏同志作为高炮六十七师电影队放映员,参加北京军区文化工作站电影机器修理站“以修代训”培训班。他勤奋好学、刻苦钻研和谦虚、质朴的品格,给我留下了很深的印象。1973~1977年,在北京军区文化工作站天津分站,我们共同举办多期电影放映技术训练班,他分别担任过《电影放映机》、《电影扩音机》、《发动发电机》课程的教员。这之后,我们分开了十余年,虽然见面少了,但一直保持着电影技术工作方面的交流和联系。

每个人的一生,通过几十年的辛勤努力能为社会做出的贡献,在人类发展的伟大历史进程中都是很有限的,然而又是不可缺少的。因为历史的进步和时代的发展,有赖于我们每个人的贡献,只有每个人都积极发挥个人的主观能动作用,才能共同把历史向前推进,才能使时代的发展步伐变得更快。30多年来,戴永柏同志以“以终为始”和“绝知此事要躬行”的精神,紧跟电影的科技进步和发展,心无旁骛地把电影技术工作当成事业来做,把电影事业当成学问来做;他根植于军队电影事业这片沃土,借助军队具有健全的机构、集中统一的领导、能干一番事业的环境和物质条件的优势,积极进取、勇于实践,为军队的建设服务,为军队电影事业的发展做了很多扎实有效的工作;他从一名普通的电影放映员,成为有学问、有能力、有实践经验的高级工程师,入选中国科学技术协会人才库的“科技专家”。他在事业上的成功,他为基层部队服务做出的业绩,是很可敬的。

军队电影数字立体声技术的发展比地方起步较晚,数量也少。提高和改善部队广大官兵观看电影的质量,搞好军队电影工作,是军队建设的需要。需要就是发展的力量和源泉,经中央军委批准,全军基层文化器材从2003年起实行列装管理,尤其是旅团以上部队电影放映设备座机化和结合各单位配置电影数字立体声设备进行的礼堂建声改造,使电影数字立体声技术在军队部分旅团部队得以使用和发展。戴永柏同志编写的《电影数字立体声技术》一书,适应了我国,特别是军队电影数字立体声技术发展的需要。

目前,随着我国广播电影电视数字化、网络化、产业化的进程,和启动电影数字放映示范工程,给传统的电影制作发行放映带来一场革命。技术是事业的基础保障,更是事业发展的重要推动力。戴永柏同志编写的《电影数字立体声技术》一书,较好地解决了理论与实践相结合的问题,经中国电影科学技术研究所教授级高级工程师、我国电影数字立体声技术学科带头人姚

Abstract

2004 年 4 月 26 日

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 电影立体声的发展	(1)
一、电影立体声的起步与发展	(1)
二、我国电影立体声的起步与发展	(2)
第二节 立体声原理	(3)
一、双耳效应	(3)
二、耳壳效应	(5)
三、声像定位	(5)
第三节 电影模拟立体声	(7)
一、A 型 4-2-4 电影立体声	(7)
二、杜比 SR 型 4-2-4 电影立体声	(8)
第四节 电影数字立体声	(8)
一、SR·D 数字立体声	(8)
二、SDDS 数字立体声	(8)
三、DTS 数字立体声	(9)
第五节 立体声影片	(10)
第六节 THX 系统与 THX 认证	(11)
第二章 电影立体声系统的组成	(13)
第一节 系统的基本构成	(13)
一、系统框图及原理	(13)
二、系统组成	(14)
第二节 A 环和 B 环	(16)
一、A 环和 B 环的概念	(16)
二、A 环和 B 环的技术特性	(17)
三、ISO 2969 曲线	(19)
四、我国数字立体声影院观众厅的电一声技术特性	(19)
第三节 主要技术性能	(21)
一、主要技术术语	(21)



))))))

二、频段、倍频段和 1/3 倍频段	(22)
三、建声特性	(23)

第三章 数字音频基础	(26)
------------------	------

第一节 数字音频的特点	(26)
-------------------	------

一、模拟与数字	(26)
二、取样、量化、编码	(27)
三、调制	(29)

第二节 A/D 转换和 D/A 转换	(29)
--------------------------	------

一、A/D 转换	(29)
二、D/A 转换	(30)

第三节 数字音频压缩	(31)
------------------	------

一、数字音频压缩的必要性	(31)
二、音频数据压缩的基本方法	(32)

第四节 杜比 AC-3	(33)
-------------------	------

第五节 DTS 技术	(35)
------------------	------

第四章 声音处理器	(37)
-----------------	------

第一节 处理器概述	(37)
-----------------	------

一、基本组成	(37)
二、声音处理器的种类	(39)

第二节 杜比 4-2-4 立体声解码	(40)
--------------------------	------

第三节 杜比降噪声技术	(42)
-------------------	------

第四节 CP500 处理器	(44)
---------------------	------

一、基本框图及工作原理	(45)
二、基本结构及信号流程	(47)
三、背面板及其联接	(49)

第五节 CP650 处理器	(51)
---------------------	------

一、CP650 的主要特点	(51)
二、CP650 的内部结构	(51)
三、主要技术指标	(53)
四、外部结构	(54)
五、基本原理	(58)

第六节 DTS-6AD 处理器	(60)
-----------------------	------

一、基本工作原理	(61)
二、功能及配置	(61)
三、主要技术数据	(61)



(98)	四、控制面板	(62)
(98)	五、内部结构	(63)
(10)	第五章 扬声器系统	(64)
(80)	第一节 主要性能指标	(64)
(40)	一、功率	(64)
(40)	二、阻抗	(64)
(40)	三、频率响应	(65)
(20)	四、特性灵敏度	(66)
	五、指向特性	(66)
(20)	第二节 主扬声器	(67)
(20)	一、JBL 主扬声器	(68)
(20)	二、EV 主扬声器	(69)
(20)	三、KCS 主扬声器	(70)
(00)	第三节 环绕声扬声器	(71)
(01)	第四节 次低音扬声器	(72)
(40)	第五节 部分国产数字立体声扬声器	(73)
(40)	一、音霸牌数字立体声扬声器	(73)
(20)	二、飞达牌电影数字立体声扬声器	(74)
(80)	第六节 分频器	(75)
(108)	一、无源分频	(76)
(90)	二、电子分频器	(76)
(100)	三、常用电子分频器	(77)
(01)	第七节 DCM 音频处理器	(78)
(110)	第六章 功率放大器	(80)
(21)	第一节 性能指标	(80)
(110)	一、对电影立体声功率放大器的要求	(80)
(110)	二、主要技术指标	(80)
(81)	第二节 电影立体声功放	(82)
(45)	一、QSC 功放	(82)
(154)	二、皇冠功放	(86)
(150)	三、音霸牌 CPA 系列功放	(87)
(131)	四、飞达功放	(87)
(138)	第七章 双红光还音	(89)
(20)	第一节 红光还音	(89)



(50)	一、无银声迹	(89)
(60)	二、红光还音	(89)
(40)	第二节 红光读出头还音装置	(91)
(40)	第三节 红光读出头装置的调整	(93)
(40)	一、红光读出头调整的主要内容	(93)
(40)	二、模拟读出头调整	(94)
(40)	三、数字读出头调整	(94)
(20)	第四节 双红光电源	(94)
(00)	第八章 影院建筑声学基础	(96)
(70)	第一节 声学常识	(96)
(80)	一、声音的产生与传播	(96)
(90)	二、声音传播性能的计量	(96)
(00)	三、声音强度的计量	(97)
(10)	四、声源的频谱与声源的指向性	(100)
(20)	五、人的听觉特性	(101)
(30)	第二节 室内声学原理	(104)
(40)	一、室内声场	(104)
(50)	二、混响时间	(105)
(60)	三、混响时间的频率特性	(108)
(70)	四、背景噪声	(108)
(80)	五、声场均匀度	(109)
(90)	六、对声场的总体要求	(109)
(00)	第三节 吸声材料与吸声处理	(110)
(10)	一、吸声系数和吸声量	(110)
(20)	二、吸声材料和吸声结构	(110)
(30)	三、隔声和降噪	(115)
(40)	第四节 建声设计基础	(116)
(50)	一、设计方法和步骤	(116)
(60)	二、数字立体声电影厅声学设计举例	(118)
(70)	第九章 相关技术标准	(124)
(80)	附 1: GY/T 183—2002 数字立体声电影院的技术标准	(126)
(90)	附 2: GB/T 3557—94 电影院视听环境技术要求	(131)
(00)	附 3: GB/T 13157—91 35mm 影片光学声迹的还音电声频率响应特性	(138)
(10)	附 4: GB/T 15397—94 电影录音控制室、鉴定放映室及室内影院 A 环、 B 环电声频率响应特性测量方法	(146)



附5: 电影院星级评定要求(试行)	(152)
第十章 系统设计	(163)
第一节 设计思路	(163)
一、根据功能需要选择合适的立体声模式	(163)
二、根据经济实力选择不同的档次	(166)
第二节 系统配置的设计	(167)
一、电声系统配置的设计	(167)
二、扬声器功率配置估算	(168)
三、功放功率配置估算	(170)
四、设备配置	(170)
五、做出预算方案和施工方案	(171)
第三节 管线设计	(171)
一、线管	(171)
二、导线	(172)
三、插头和插座	(172)
四、地线	(173)
第四节 银幕位置和尺寸设计	(174)
第五节 设计技巧	(176)
一、立体声设备的配置技巧	(176)
二、与礼堂扩声系统的兼容	(177)
第十一章 常用仪器	(180)
第一节 双踪示波器	(180)
一、电源和显示部分	(181)
二、垂直偏转系统	(181)
三、水平偏转系统	(181)
四、触发系统	(182)
第二节 实时分析仪	(182)
一、DN6000 各功能键说明	(184)
二、DN6000 的主要用途	(186)
三、声级计	(188)
第三节 测试影片	(188)
一、调试用影片	(189)
二、检测用影片	(189)



))))))

第十二章 电影立体声系统的安装与调试	(191)
第一节 电影立体声系统的安装	(191)
一、机柜安装	(191)
二、管线安装	(192)
三、扬声器安装	(193)
第二节 设备联接	(194)
一、解码器联接	(194)
二、功放联接	(202)
三、扬声器联接	(203)
第三节 A 环调试	(203)
一、模拟 A 环调试内容	(203)
二、A 环调试仪器及联接方法	(203)
三、模拟 A 环的电脑调试	(205)
四、模拟 A 环的人工调试	(206)
五、数字 A 环调试	(208)
第四节 B 环调试	(210)
一、常用仪器和联接方法	(210)
二、调试内容及电脑 B 环调试方法	(211)
第五节 人工 B 环调试	(220)
第六节 外部菜单方式	(230)
第七节 CP500 处理器调试	(235)
一、主要调试菜单	(235)
二、B 环调试	(236)
三、输出调整	(237)
四、A 环调试	(237)
五、密码设置与更改	(238)
第八节 DTS-6AD 处理器调试	(239)
一、安装和联接	(239)
二、A、B 环调试	(241)
第十三章 电影立体声系统的维护保养与检修	(242)
第一节 电影立体声系统的正确使用	(242)
一、打好使用操作立体声设备的基础	(242)
二、立体声设备的使用与操作	(242)
第二节 电影立体声系统的维护	(244)
一、放映机还音系统的维护	(244)



二、双红光还音系统的维护	(244)
三、A 环检查	(245)
四、扬声器系统检查	(245)
五、处理器检查	(245)
六、其它设备检查	(245)
七、B 环检查	(245)
八、综合试声	(246)
第三节 常见故障分析	(246)
一、完全无声	(247)
二、衰减器问题	(247)
三、某些制式没有声音	(248)
四、有干扰噪声	(249)
五、换机和控制问题	(249)
六、一个或多个声道有问题	(250)
参考文献	(252)
后 记	(253)



第一章 概述

第一节 电影立体声的发展

一、电影立体声的起步与发展

自 1927 年第一部有声电影问世以来，电影声迹的发展经历了几十年曲折的过程。尽管在 20 世纪三四十年代国际上就开始了对电影立体声的研究和实验，但都没有能够取得具有推广价值的成果。这期间最有代表性的是 1940 年迪斯尼制片厂录制的立体声彩色动画影片《幻想曲》，它采用的是三路主声迹和一条控制声迹，这是一种声画分离的系统，这四条声迹录制在另一条胶片上，放映时，使用一台光学还音机与放映机实行同步连锁放映。这种设备虽然笨重、复杂、价格昂贵，但对电影立体声的发展无疑是一个巨大的推动。

50 年代是电影立体声迹发展较快的年代：1952 年问世的全景电影采用三台 35mm 放映机和一台 35mm 七路立体声磁片还音机连锁放映，其七路立体声为银幕后面五路，观众厅两路，开创了观众厅有环境声的立体声电影。1953 年制作的变形宽银幕电影采用 4 路磁性声迹，开创了声画合一的涂磁拷贝电影形式。

磁迹还音虽然使电影立体声成为现实，但这种立体声电影是建立在磁性录音发展基础上的，所以磁性录音的缺点也必然对磁性电影立体声的发展产生制约。磁性还音的突出缺点是磁头在拾取信号时必须使磁头接触磁迹，这不仅对磁头、磁迹容易产生机械磨损，而且还容易在磁头缝隙处积累灰尘、磁粉污垢，直接影响还音效果，所以在 50 年代后期，35mm 涂磁拷贝也就逐渐被放弃了。

进入 60 年代后，随着模拟音频技术的全面发展，电影还音技术也有了突破性进展。首先，杜比公司将 A 型互补降噪技术应用于电影声迹的录制和还音过程，它采用分频段压扩技术，既有效地降低了载音体的本底噪声，又减小了电子降噪容易产生“处理痕迹”的缺点，使光学声迹影片在影院的还音效果有了明显改善。进入 70 年代，杜比公司又将 A 型降噪技术与矩阵 4-2-4 立体声编解码技术相结合，研制成变积式光学立体声迹，称为 A 型 4-2-4 光学立体声声迹。这种技术的根本目的，就是要用少数的声迹来记录多路立体声信号，从而制作出串音较小、兼容性较好的立体声影片，使电影立体声的发展得到了革命性进步，也为它的广泛应用提供了可能。用这种方法录制的立体声影片，从 1978 年到 1984 年连



))))))

续七年共七部获得美国电影艺术科学院的声音奖。

继 A 型 4-2-4 电影立体声之后,杜比公司又于 1988 年左右,将他们的第二代降噪技术——频道录音(SR)与 4-2-4 矩阵技术相结合,开发出了 SR 型 4-2-4 光学立体声迹。这一技术的应用,又将模拟光学声迹的质量提高到了一个新的水平,使立体声的降噪效果、信噪比、动态范围、分离度、频带宽度均提高了一大步。

随着数字音频技术的发展,国际上从 20 世纪 80 年代末就开始了对电影数字立体声的研究。自 1989 年至 1993 年的五年中,先后就开发出八种电影数字立体声,其中有的只是在某些技术活动中做过演示,目前真正能够得以生存和发展的只有 SR·D、DTS 和 SDDS 三种。这三种制式与模拟立体声相比的共同优点是音质好、声音清晰度高、失真小、动态范围大、临场感强等。但三种制式又各有特点,各有所长。

二、我国电影立体声的起步与发展

我国电影立体声的发展与国际相比虽然晚了些,但近些年来,随着“大片”的引进和国内立体声影片的发展,观众对电影还音质量的要求越来越高,影院通过改善还音质量来提高效益的积极性也日趋明显,从而有力促进了我国电影立体声的发展。

我国电影立体声发展的一个突出特点是起步晚,进度快。我国于 1986 年 3 月由北影拍摄了第一部 A 型 4-2-4 立体声影片《山林中头一个女人》,获第七届中国电影金鸡奖的最佳录音奖和首届电影电视技术学会的声音奖。1988 年,上海照相器材研究所参考 CP55 生产出 A 型 4-2-4 立体声处理器。随后不久,深圳大学李应楷先生也研制成功了全国产 A 型 4-2-4 立体声解码器,并获国家专利和科技成果奖。但在 SR 型立体声,尤其是数字立体声技术上,我国目前还远远落后于国外,至今仍没有掌握生产电影数字立体声解码设备的技术。但值得高兴的是,我国政府和业内人士对电影数字立体声的发展给予了高度重视和关注,这在很大程度为我国电影数字立体声的发展奠定了坚实的基础。

——1995 年 10 月在中国电影公司举办第一次数字立体声讲座,并进行 SR·D 数字立体声演示。

——1996 年 6 月,我国第一部采用 SR·D 制式拍摄的数字立体声影片《鸦片战争》发行放映,拉开了我国电影数字立体声的序幕,带动了全国各大城市影院和机关放映单位进行电影数字立体声改造和建设的积极性。

——1998 年,在南京“全国电影技术会议”上通过了《关于在我国发展 DTS 数字立体声电影的思考》建议书。

——1999 年 4 月,上海电影技术厂制作了国内第一张 DTS 电影数字立体声实验光盘《上海纪事》,标志着 DTS 电影数字声制作设备在国内安装调试完成。同年 8 月由上海电影技术厂承担后期制作的国内第一部 DTS 数字立体声动画影片《宝莲灯》在全国放映。同年,又制作了四部 DTS 制式的影片。



——2000年8月，北京电影制片厂和八一电影制片厂也安装了DTS立体声影片制作设备。

——2001年在西宁“全国电影技术会议”上通过了《关于加快电影放映使用红光还音进程的建议》的建议书。

——2002年8月，国家广播电影电视总局发布了《数字立体声电影院的技术标准》，颁发了《电影院星级评定暂行办法》和《电影院星级评定要求》（试行）。

从影片生产情况看：1999年有14部国产影片采用SR·D制式，其中有四部采用双数字制式，即SR·D和DTS制式。影片分别是：《宝莲灯》、《紧急迫降》、《冰与火》和《偷天陷阱》。有50%以上影片采用模拟立体声SR方式。2000年有14部国产影片采用SR·D制式，有五部采用DTS制式，其中有四部是SR·D和DTS双制式；2001年有14部国产影片采用SR·D制式，有一部采用DTS制式；2002年有15部国产影片采用SR·D制式，有四部采用DTS制式；2003年有30部国产影片采用SR·D制式。

从影院改造和建设方面看：1997年底，我国数字声影厅仅有40多家，到1998年8月，全国数字声影厅就发展到了101家，到1999年底，据不完全统计，全国数字声影厅已超过160多家，其中有40家影院同时装上了DTS制式（截止2000年8月，已有20多个城市的80多家影厅使用了DTS数字还音设备）。至2001年已建成400家左右的数字立体声影厅（注：影院数字来自“全国电影技术工作会议工作总结”），至2003年约有500多家数字立体声影厅。新技术的采用，为放映单位带来了根本性变化，通过立体声改造的影院创造了很好的经济效益，其中上海、北京等大城市有的影院一年的票房收入就超过了千万。经过几年的发展，除进口设备外，国产数字立体声设备（除解码器外）也逐渐完善，应该说目前我国全面推进电影数字立体声改造的技术已经成熟，成本愈趋合理，这为放映单位进行数字立体声改造提供了可靠的保证。

第二节 立体声原理

立体声是指从空间不同位置上的声源采用两个或多个声道分别传送的声音。

电影还音分为单声道和立体声还音。单声道还音虽能反映声音的强弱、音调和音色的变化，但不能反映声源方位的变化和空间的分布，缺乏临场感和真实感。立体声还音采用多声道方式，它根据声源的方位传送声音，使听众具有身临其境的感觉。

自然界中声源分布是立体的，人们感受声音也是立体的，虽然这种立体声音的感受是一个非常复杂的现象，但人的双耳效应和耳壳效应是感受立体声，产生听觉定位的关键因素。

一、双耳效应

双耳效应：指人利用双耳来判别声音方位的能力。



由于人的双耳位于头部两侧，如果声源不在听者的正前方，而是偏离正前方的垂直中轴面，则声源到达两耳的距离就不相等，这时从声源发出的声音到达两耳的时间就不一样，存在时间差 Δt ；相位也不一样，存在相位差 $\Delta\varphi$ ；声音的响度也会因人头部的遮挡而产生差别，存在强度差 Δp 。于是，人的听觉神经中枢就会根据声音到达两耳的时间差、相位差、强度差等进行综合分析，判断出声音的方位。

1. 时间差 Δt

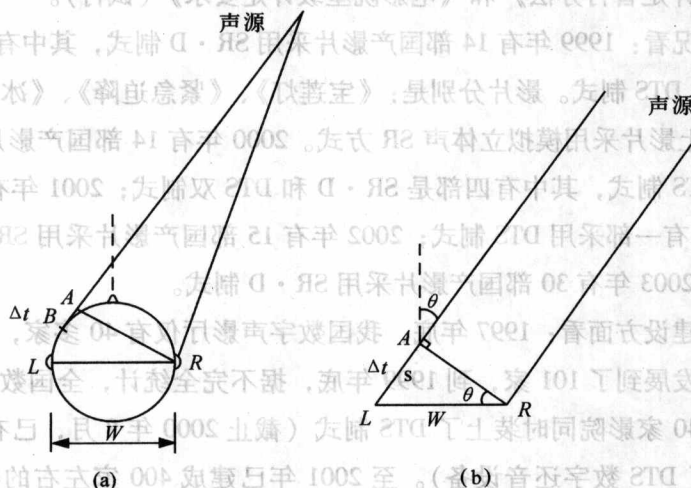


图 1-1 双耳时间差示意图

如图 1-1 (a) 所示，声波到达左耳比到达右耳多走的距离为 $\overline{AB}$ 直线距离加上 $\overline{BL}$ 弧长距离，声源到达双耳的时间差是声波多走的距离除以声速 c ，即：

$$\Delta t = \frac{\overline{AB} + \overline{BL}}{c}$$

为了简化运算，将声波视为平面波，把人头部的弧长作为直线，则如图 1-1 (b) 所示，声音从 A 到 L 的时间为 Δt ，设 AL 的距离为 s ； LR 为两耳间的距离 W ，设 $W = 17.2\text{cm} = 0.172\text{m}$ ；声速 c 为 343m/s ； θ 为声源偏角，即声波入射线与人双耳垂直线的夹角。所以：

$$\Delta t = \frac{s}{c} = \frac{W \sin \theta}{c} = \frac{0.172 \sin \theta}{343} \approx 0.50 \sin \theta \quad (\text{ms})$$

由式可知，当 $\theta = 90^\circ$ 时，双耳的时间差达到最大值，或者说声源在正左侧或正右侧时， Δt 达到最大。

实验证明，一般人能判断的声源偏角的最小值约为 $3^\circ \sim 5^\circ$ ，人耳听觉能辨别的最小时间差 Δt 约为 $22 \sim 44\mu\text{s}$ 。

2. 相位差 $\Delta\varphi$

如果以一个单一的正弦波频率为例，则它的相位差 $\Delta\varphi$ 为：

$$\Delta\varphi = \omega \times \Delta t = \frac{2\pi f s}{c} = \frac{2\pi W}{c} \sin \theta$$